Sistemas de cultivo: la herramienta para manejar la dinámica del carbono orgánico del suelo

Ing. Agr. Guillermo A. STUDDERT, M.Sc., Dr. Ing. Agr.
Profesor Asociado, Fac. Ciencias Agrarias, UNMdP



FCA (UNMdP) – EEAB (INTA)
Unidad Integrada Balcarce





SUELO

CLIMA

RELIEVE

PRÁCTICAS DE MANEJO

AMBIENTE EDÁFICO

DISTURBIO

- Biológico

TRANSFORMACIONES

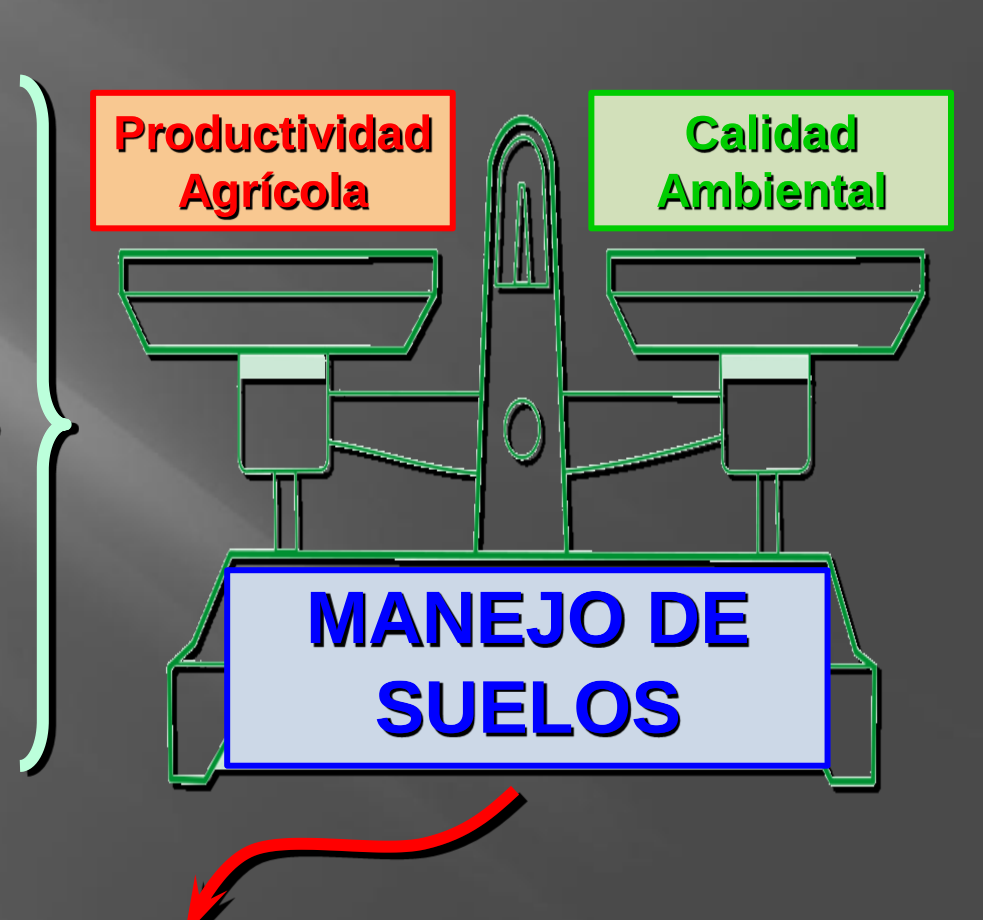
RESPUESTAS

Los servicios ecosistémicos, la materia orgánica y el uso del suelo



Servicios ecosistémicos:

- ✓Provisión de alimentos
- ✓Oferta de agua pura
- ✓Regulación de caudales
- ✓Regulación de erosión
- ✓Ciclado de nutrientes
- ✓Balance de gases



CONTENIDO Y DINÁMICA DE LA MATERIA ORGÁNICA

Adaptado de Powlson et al., 2011

Adaptado de Reicosky et al., 2011



Contenido actual y cambio de materia orgánica en la Región Pampeana

COS (g kg^{-1})
5.8 – 11.5
11.6 – 17.3
17.4 – 23.1
23.2 – 28.9
29.0 – 57.9

N

kilometers
0 125 250 500

Provincia	Zona	Contenido de materia orgánica		Variación
		Virgen (S.E.)	Actual (S.E.)	
		------------------ g kg^{-1} ------------------		%
Buenos Aires	SE	85,9 (18,5) (n = 21)	55,3 (9,0) (n = 1036)	-35,6
	N	50,5 (10,3) (n = 41)	29,0 (12,1) (n = 2081)	-42,5
Santa Fe	S	42,6 (11,2) (n = 6)	26,2 (5,1) (n = 2853)	-38,4
Cordoba	SE	33,5 (8,4) (n = 7)	20,2 (5,7) (n = 1903)	-39,6
La Pampa	E	34,5 (6,8) (n = 7)	16,4 (6,1) (n = 527)	-52,5

Sainz Rozas et al., 2011

La dinámica de la materia orgánica: una cuestión de balance



Regulación entradas

Regulación salidas

Entradas

Potencial
de
funcionar

Salidas

Adaptado de Janzen, 2006

La dinámica de la materia orgánica: una cuestión de balance



Manejo y combinación de cultivos y residuos

Sistemas de laboreo

Residuos de cultivos
Abonos orgánicos

MO del suelo: funciones

Nutrientes

Energía

CO_2

Mineralización

EROSIÓN

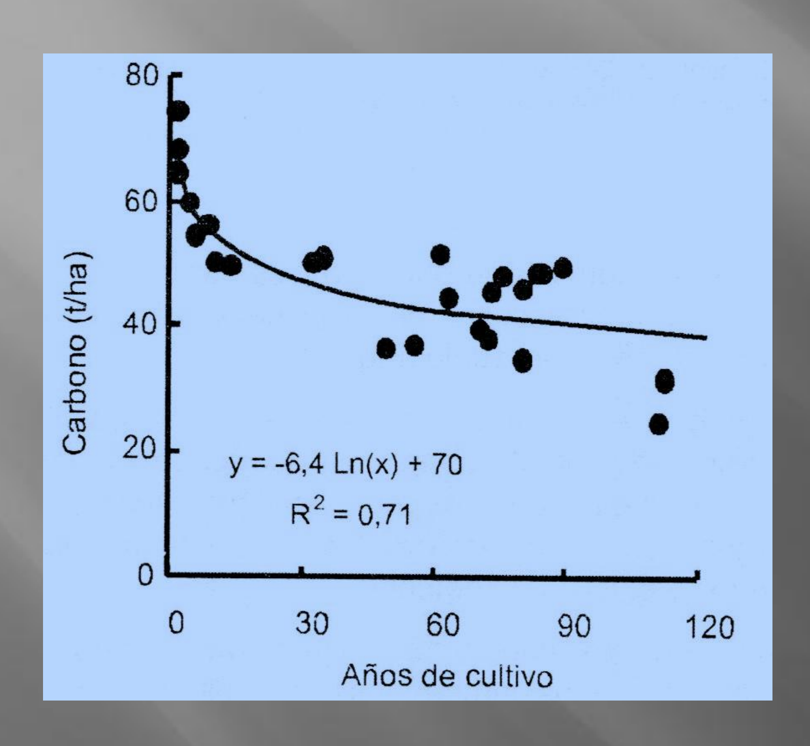
Adaptado de Janzen, 2006


INTA
Unidad Integrada Balcarce

Variación de carbono orgánico del suelo con los años de agricultura

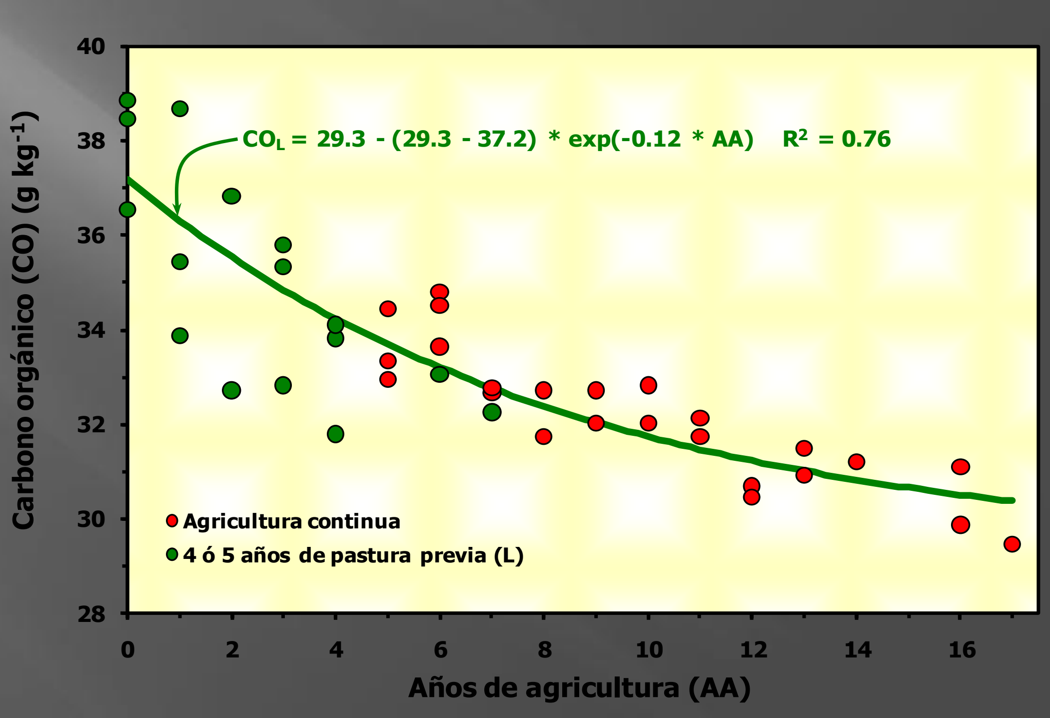


Pampa ondulada



Andriulo y Cordone, 1998

Balcarce



Studdert et al., 1997

Variación de carbono orgánico del suelo (0-20 cm) con los años de agricultura



Tres Arroyos

Forján, H., com. personal

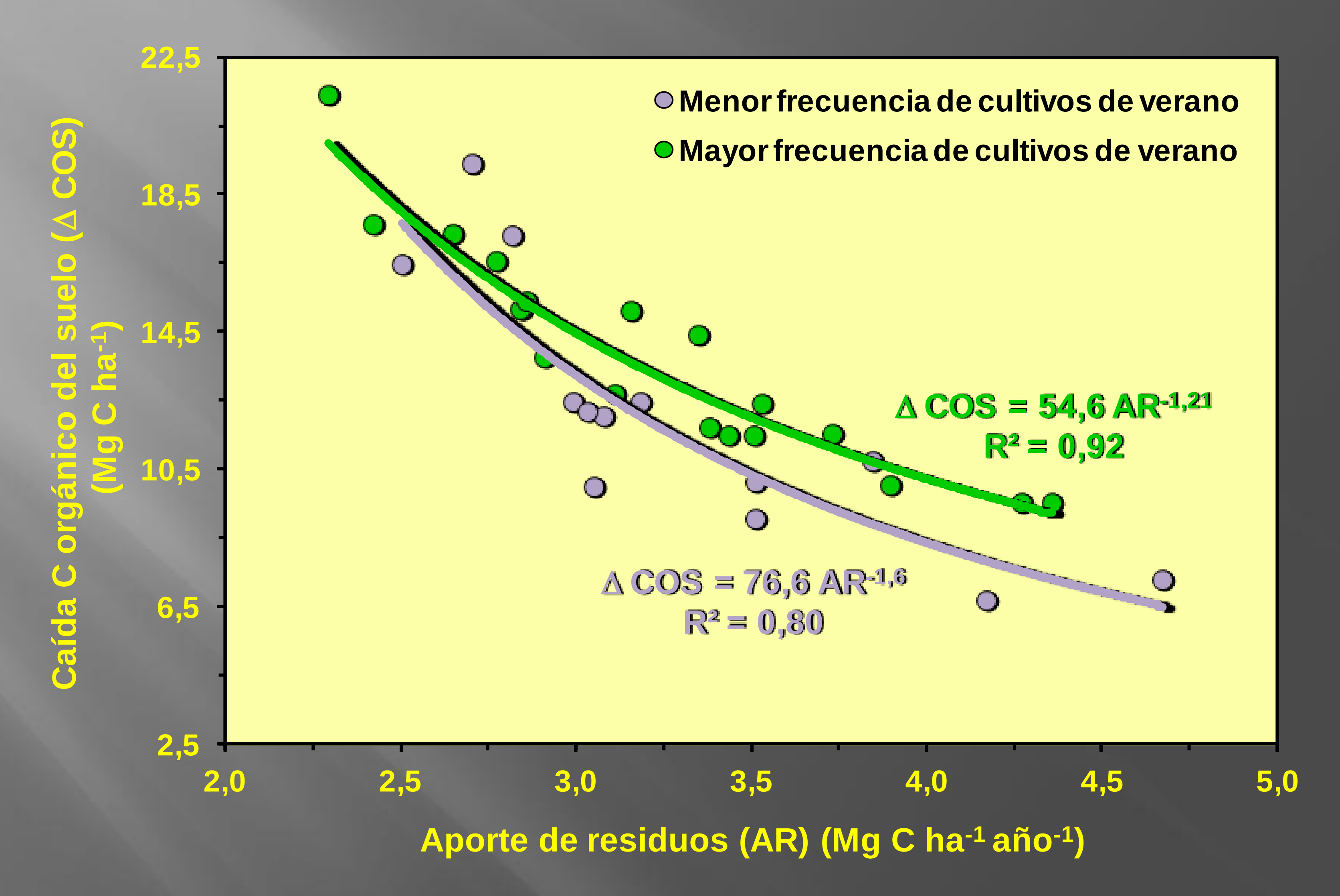
Balcarce

Adaptado de Studdert y Echeverría, 2000

T: trigo; M: maíz, S: soja, G: girasol

Disminución del carbono orgánico del suelo (0-20 cm) en función del aporte por residuos

Unidad Integrada Balcarce



Adaptado de Studdert y Echeverría, 2000

Balance de carbono orgánico (0-20 cm) del suelo según rendimiento de cuatro cultivos



Adaptado de Domínguez y Studdert, 2006



Cambios en el carbono orgánico del suelo (0-20 cm) según la ocupación con soja

Δ COS = 23,3 ICS + 11,5
$R^2 = 0,65$

Δ COS = 22,6 ICS + 9,6
$R^2 = 0,56$

Δ Carbono orgánico del suelo (Δ COS) (Mg C ha^{-1})

23
18
13
8
3

0,00 0,05 0,10 0,15 0,20 0,25 0,30 0,35 0,40

Índice de Ocupación con Soja (ICS)

- Secuencias sin maíz
- Secuencias con maíz

Adaptado de Studdert y Echeverría, 2000

Cambios en el carbono orgánico del suelo (0-30 cm) bajo distintas combinaciones de cultivos



C orgánico del suelo (COS) (Mg ha-1)

COS = -35,5 ICS + 78,3
R^2 = 0,21

Molisol
Vertisol

Índice Ocupación con Soja (ICS)

COS = 24,0 IISm + 52,7
R^2 = 0,11

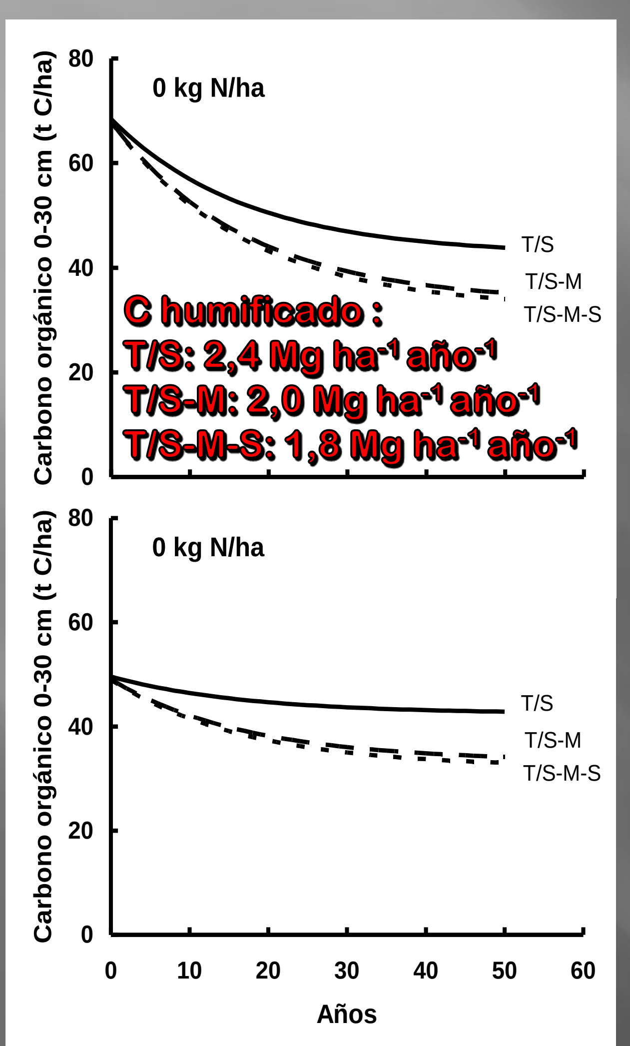
Molisol
Vertisol

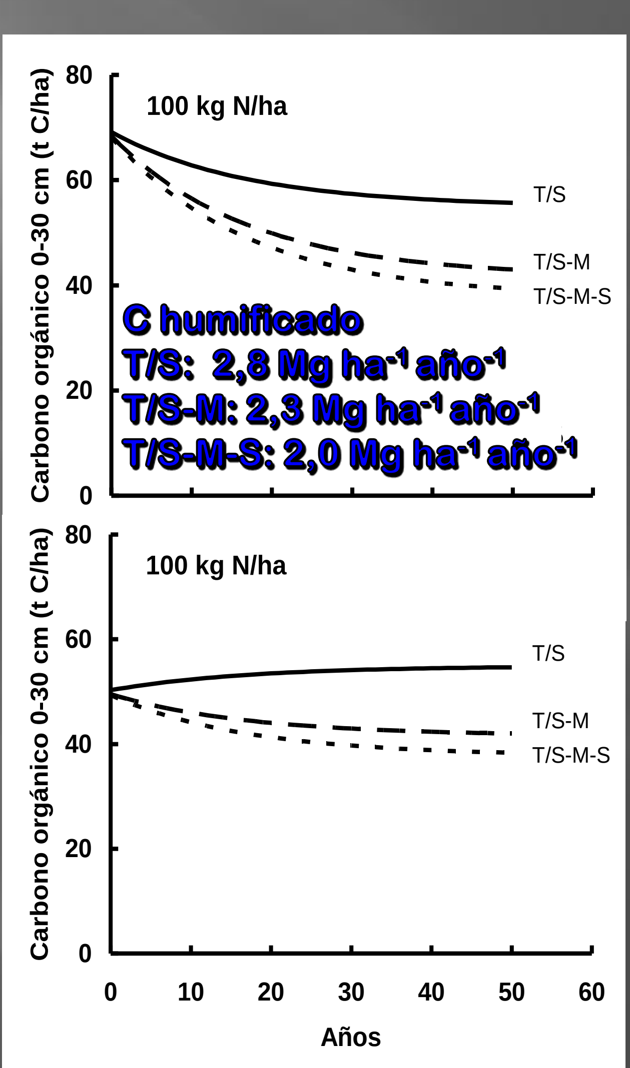
Índice Intensificación Secuencia (IISm)

Adaptado de Novelli, 2013

Modelación de la evolución de carbono orgánico del suelo (0-30 cm) para distintas secuencias de cultivos







Índice de intensificación base mensual:

T/S: 0,750

T/S-M: 0,625

T/S-M-S: 0,555

Álvarez, 2005



Rendimientos y aporte de residuos por sistemas con distintos niveles de intensificación

Rendimiento en grano o residuos (Mg ha^{-1} año^{-1})

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

Rendmiento

Residuos

Ind.Intensif.Sec.	0,83	0,46	0,67	0,47	0,61	0,48
N° cultivos año^{-1}	2,0	1,0	1,5	1,0	1,3	1,0
Secuencia	T/S	T-S	T/S-M	T-S-M	T/S-M-S	T-S-M-S

Adaptado de Caviglia y Andrade, 2010

Carbono orgánico del suelo e intensificación de la agricultura en ambientes semiáridos



ETP	Secuencia	C orgánico del suelo (Mg ha⁻¹) 0-10 cm	C orgánico del suelo (Mg ha⁻¹) 10-20 cm	C de los rastrojos (Mg ha⁻¹)

C orgánico del suelo (Mg ha^{-1})
10-20 cm
0-10 cm
Secuencia: T B, T M B, T M Mi B, AC
ETP: BAJA, MEDIA, ALTA

C de los rastrojos (Mg ha^{-1})
Secuencia: T B, T M B, T M Mi B, AC
ETP: BAJA, MEDIA, ALTA

Δ Carbono orgánico del suelo (Δ COS) (Mg ha^{-1})
Baja ETP - COSini=31,6 Mg/ha
Media ETP - COSini=37,4 Mg/ha
Alta ETP - COSini=15,1 Mg/ha
$\Delta COS = -3{,}0\ CR + 15{,}9$, $R^2 = 0{,}48$
$\Delta COS = -5{,}3\ CR + 12{,}7$, $R^2 = 0{,}88$
$\Delta COS = -6{,}8\ CR + 5{,}9$, $R^2 = 0{,}84$
Aporte de C por los residuos (CR) (Mg ha^{-1})

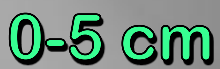
T: trigo,
M: maíz,
Mi: mijo,
B: barbecho,
AC: agricultura continua

Adaptado de Sherrod et al., 2003


INTA
Unidad Integrada Balcarce

Carbono orgánico del suelo y años de agricultura bajo LC y SD





0-20 cm

SD
LC

C orgánico total (Mg ha^{-1})

C orgánico particulado (Mg ha^{-1})

Año de Agricultura

Studdert et al., inédito

Cambios en el C orgánico del suelo y aporte de C por los residuos



1997-2001 | 2001-2004 | 1997-2004

0-5 cm

Δ C orgánico total (Mg ha^{-1} a masa equivalente)

3,0 2,0 1,0 0,0 -1,0 -2,0 -3,0

0-20 cm

Δ C orgánico total (Mg ha^{-1} a masa equivalente)

9,0 6,0 3,0 0,0 -3,0 -6,0 -9,0

Aporte residuos

Aporte C residuos + raíces (Mg ha^{-1} año^{-1})

9,0 8,0 7,0 6,0 5,0 4,0 3,0

Fertiliz. N: s/N c/N s/N c/N

Labranza: LC SD

Adaptado de Domínguez et al., 2009

Variación del carbono orgánico del suelo bajo dos sistemas de labranza en función de los aportes de residuos



Unidad Integrada Balcarce

0-2,5 cm

Franco arcillo limoso SD
Franco Arcillo limoso LC
Franco limoso SD
Franco limoso LC

Y = 1,50 X + 16,1
Y = 0,36 X + 19,6
Y = 2,24 X + 8,1
Y = 0,77 X + 9,2

C orgánico (g kg^{-1})

34,0 30,0 26,0 22,0 18,0 14,0 10,0

2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0

Residuos de los cultivos (Mg ha^{-1} año^{-1})

0-15,0 cm

Y = 0,61 X + 17,7
Y = 0,24 X + 19,3
Y = 0,74 X + 9,6
y = 0,64 X + 9,6

2,0 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 8,0

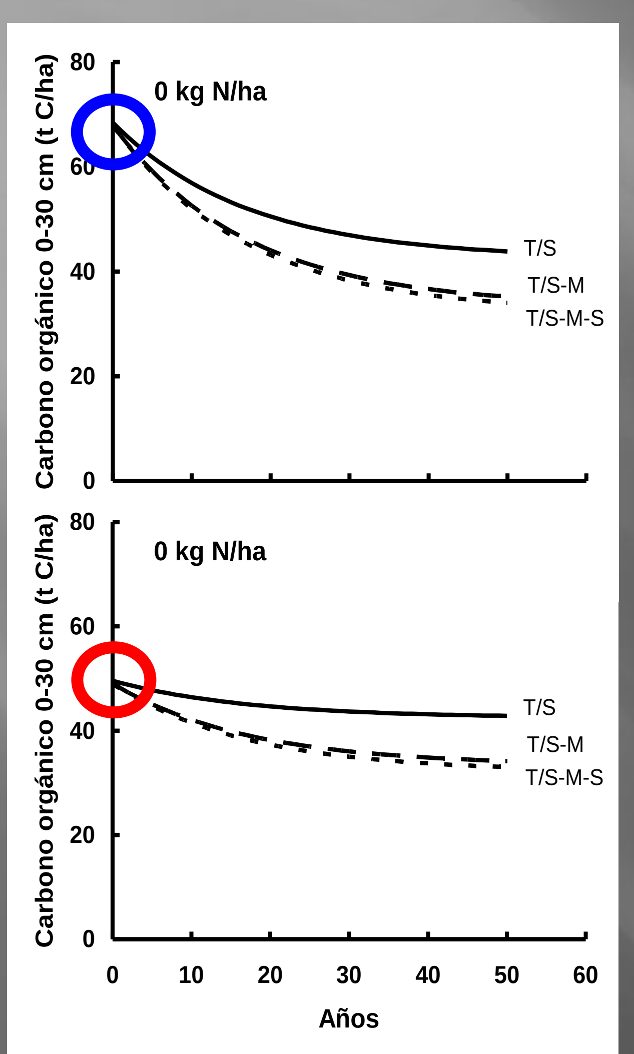
Residuos de los cultivos (Mg ha^{-1} año^{-1})

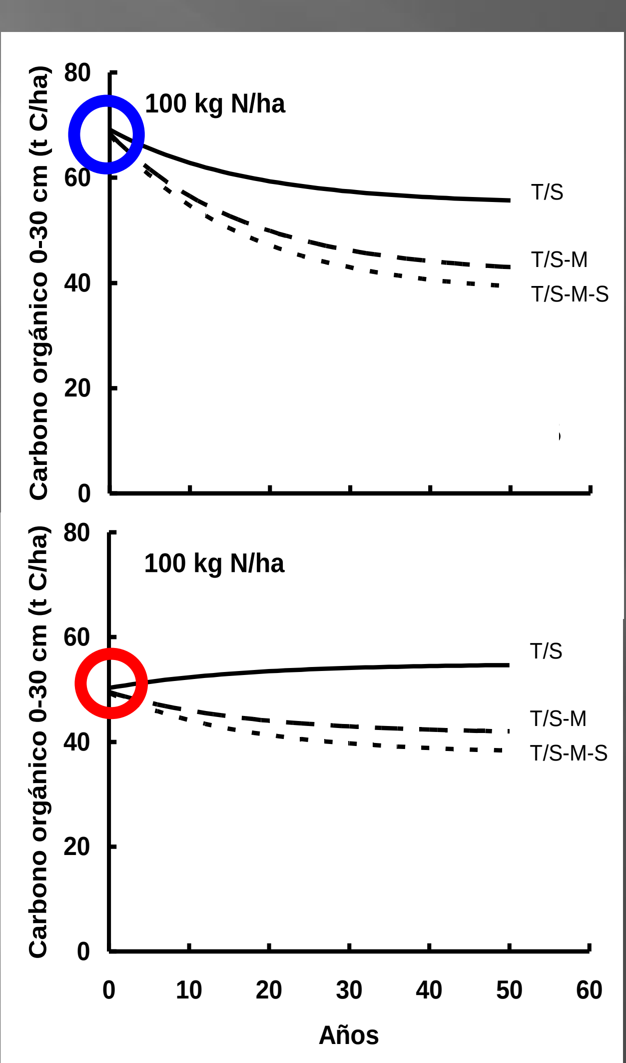
Havlin et al., 1990


INTA
Unidad Integrada Balcarce

Modelación de la evolución de carbono orgánico del suelo (0-30 cm) para distintas secuencias de cultivos

Unidad Integrada Balcarce





Índice de intensificación base mensual:

T/S: 0,750

T/S-M: 0,625

T/S-M-S: 0,555

Álvarez, 2005

Cambios en el carbono orgánico por aportes en un suelo cercano a saturación



Carbono del suelo (g C kg^{-1})

80
60
40
20
0

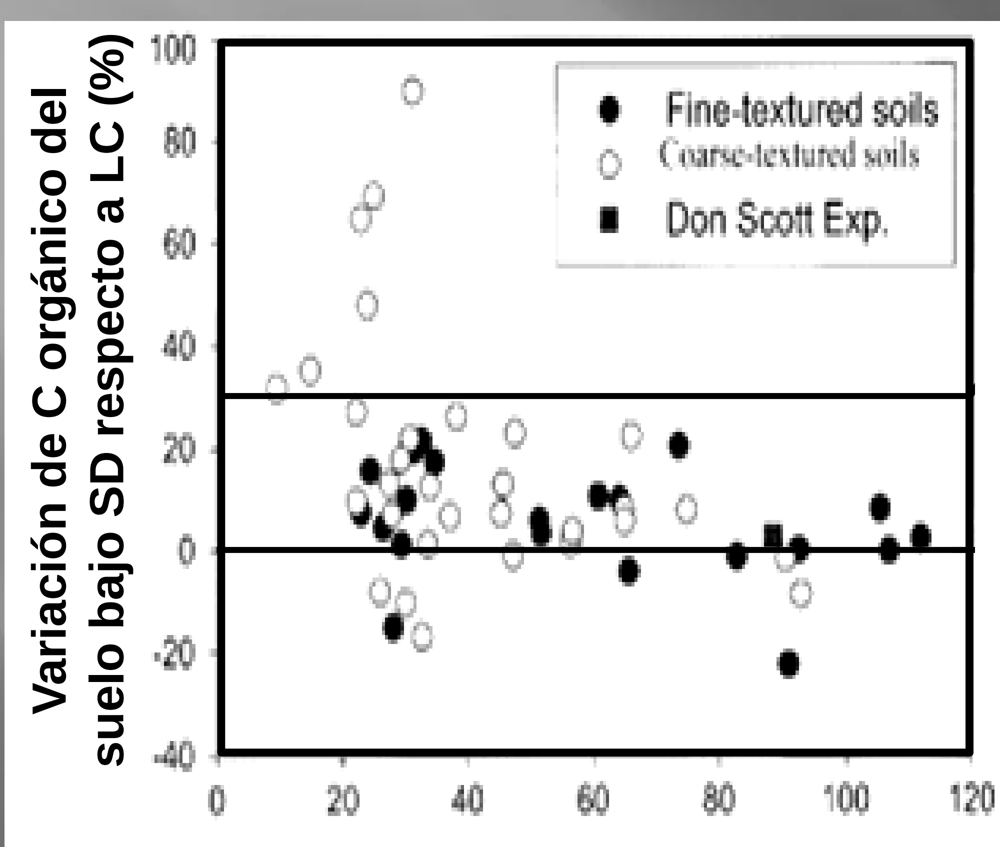
0 20 40 60 80

Aporte de carbono acumulado (Mg C ha^{-1})

Adaptado de Chung et al. , 2010



Cambios relativos en el carbono orgánico por reducción del laboreo en relación al contenido con labranza agresiva



Carbono orgánico del suelo bajo LC (Mg C ha^{-1})

Puget y Lal, 2005



Cambios relativos en el carbono orgánico por reducción del laboreo en relación al contenido con labranza agresiva

Variación de C orgánico del suelo bajo SD respecto a LC (%)

100
80
60
40
20
0
-20
-40

0 20 40 60 80 100 120

Fine-textured soils
Coarse-textured soils
Don Scott Exp.

30
25
20
15
10
5
0

0 20 40 60 80 100

Fixed depth
Equivalent mass

Carbono orgánico del suelo bajo LC (Mg C ha^{-1})

Puget y Lal, 2005

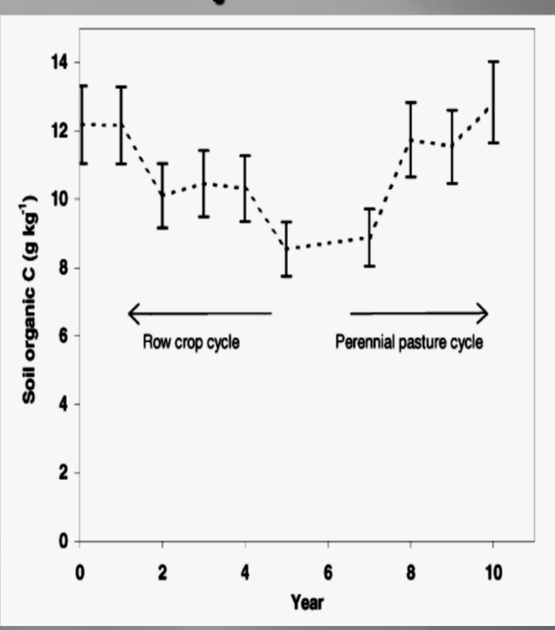
Steinbach y Álvarez, 2006



Rotaciones con pasturas y carbono orgánico del suelo

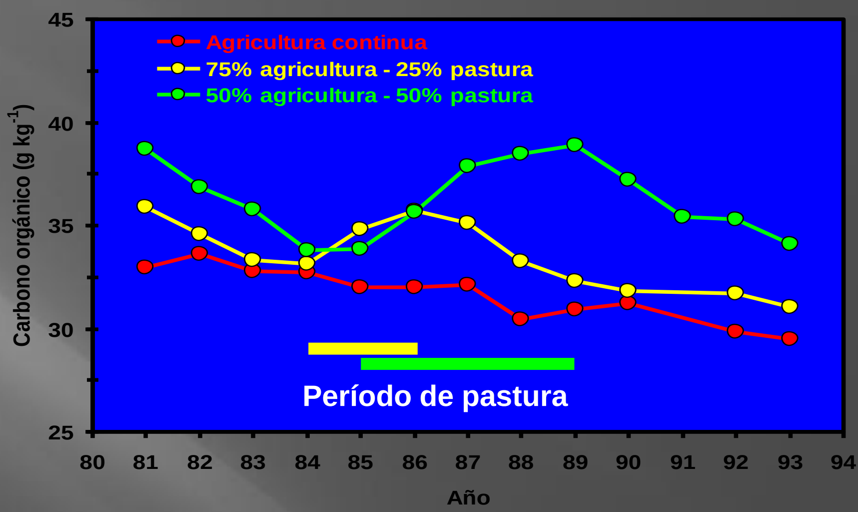


Pampa arenosa



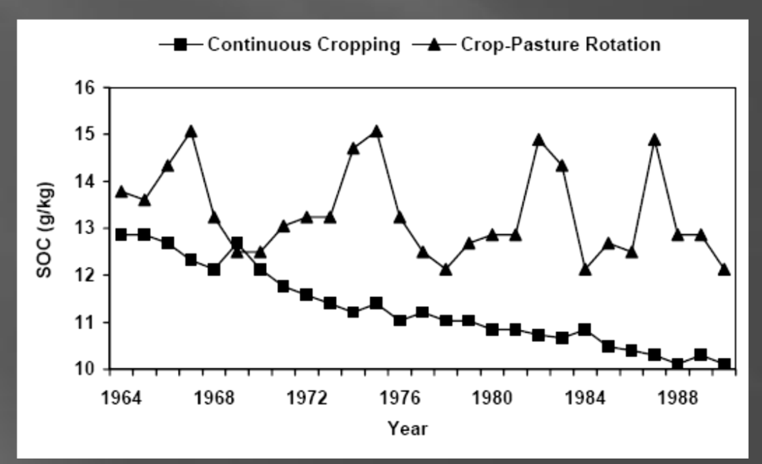
Díaz Zorita et al., 2002

Pampa austral



Adaptado de Studdert et al., 1997

Uruguay



Díaz Roselló, 1992, 1994 (citado por García Precháс et al., 2004)



Rotaciones mixtas y labranzas y carbono orgánico del suelo

A

Carbono orgánico del suelo (g kg^{-1})

25
24
23
22
21
20
19

1993
2004

B

Carbono orgánico del suelo (Mg ha^{-1})

55
50
45
40

1993
2004

AC-LC AC-SD RM-LC RM-SD

Adaptado de Siri Prieto y Ernst, 2010





Studdert et al., inédito

Recuperación de carbono orgánico del suelo por inclusión de una pastura



Siembra pastura

CO vs AA
CO vs AP

7 años
3 años

Carbono orgánico (CO) (g kg^{-1})

40
38
36
34
32
30
28

0 2 4 6 8 10 12 14 16

Años de agricultura (AA) o de pastura (AP)

Studdert et al., 1997



INTA
Unidad Integrada Balcarce

Manejo de los procesos de la dinámica del carbono orgánico del suelo



- Cantidad de carbono que se devuelve al suelo
  cultivos, rendimiento, intensificación, manejo residuos
- Calidad del material que se devuelve al suelo
- Cantidad de carbono que se mineraliza

Sistema de Cultivo

- Contenido inicial y déficit de saturación
- Características del ambiente
  suelo, clima, relieve

EROSIÓN



CONSIDERACIONES FINALES

- ✓ la selección y combinación de prácticas en los **sistemas de cultivo** es lo que permite orientar y/o regular los procesos involucrados en la dinámica del carbono en el suelo y aprovechar sus ventajas de manera sustentable.

- ✓ los **sistemas de cultivo** son efectivos para manejar la dinámica de carbono en el suelo si conducen a una intensificación de su uso y si son elegidos en consonancia con las condiciones agroambientales y reducen riesgos de otros tipos de degradación.

- ✓ la **intensificación de la agricultura** es necesaria desde el punto de vista del uso eficiente y seguro de los recursos disponibles y conduce a mejorar la dinámica del carbono del suelo, pero se deben tener en cuenta otros aspectos que hacen a la sustentabilidad integral del sistema.



Ing. Agr. Guillermo A. STUDDERT, MSc, Dr.
Profesor Asociado
Facultad de Ciencias Agrarias,
Universidad Nacional de Mar del Plata
Unidad Integrada Balcarce

C.C. 276, Ruta Nac. 226 km 73,5
(7620) Balcarce,
Prov. Buenos Aires, Argentina
gstuddert@balcarce.inta.gov.ar

Bibliografía

Álvarez, R. 2005. Balance de carbono en suelos de la Pampa Ondulada: efecto de la rotación de cultivos y la fertilización nitrogenada p. 61-70. In: F.O. García y F.G. Micucci. (eds.) Actas "Simposio Fertilidad 2005, Nutrición, Producción y Ambiente", INPOFOS, Rosario, Santa Fe, Argentina, 27 y 28 de abril de 2005.

Andriulo, A. y G. Cordone. 1998. Impacto de labranzas y rotaciones sobre la materia orgánica de suelos de la Región Pampeana Húmeda. p. 65-96. In: J.L. Panigatti, H. Marelli, D.E. Buschiazzo y R. Gil (eds.) Siembra Directa II. INTA, C.A. Buenos Aires, Argentina.

Caviglia, O.P. y F.H. Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean Pampas: capture and use efficiency of environmental resources. Am. J. Plant Sci. Biotech. 3(Special Issue 1):1-8.

Chung, H., Ngo, K.J., A. Plante, and J. Six. 2010. Evidence for carbon saturation in highly structured and organic-matter-rich soil. Soil Science Society of America Journal 74:130-138.

Díaz-Zorita, M., G.A. Duarte, and J.H. Grove. 2002. A review of no till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. Soil & Tillage Research 65:1-18.

Domínguez, G.F. y G.A. Studdert. 2006. Balance de carbono en un molisol bajo labranza convencional. In: Actas “XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo” (en CD), Salta-Jujuy, Argentina, 19 al 22 de septiembre de 2006.

Domínguez, G.F., N.V. Diovisalvi, G.A. Studdert, and M.G. Monterubbianessi. 2009. Soil organic C and N fractions under continuous cropping with contrasting tillage systems on mollisols of the southeastern Pampas. Soil & Tillage Research 102:93-100.

García-Préchac, F., O. Ernst, G. Siri-Prieto, and J.A. Terra. 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. Soil and Tillage Research 77:1-13.

Havlin, J.L., D.E. Kissel, L.D. Maddux, M.M. Claasen, and J.H. Long. 1990. Crop rotation and tillage effects on soil organic carbon and nitrogen. Soil Science Society of America Journal 54:448-452.

Janzen, H.H. 2006. The soil carbon dilemma: Shall we hoard it or use it? Soil Biology and Biochemistry. 38:419-424.

Novelli, L.E. 2013. Intensificación de las secuencias de cultivos en Molisoles y Vertisoles: cambios en la estabilidad estructural y en el almacenaje de C en agregados. Tesis Doctoral. Escuela para Graduados Alberto Soriano, Fac. Agronmía, Univ. de Buenos Aires.

Bibliografía (continuación)

Powlson, D.S., P.J. Gregory, W.R. Whalley, J.N. Quinton, D.W. Hopkins, A.P. Whitmore, P.R. Hirsch, and K.W.T. Goulding. 2011. Soil management in relation to sustainable agriculture and ecosystem services. Food Policy 36:S72–S87

Puget, P. and R. Lal. 2005. Soil organic carbon and nitrogen in a Mollisol in central Ohio as affected by tillage and land use. Soil & Tillage Research 80:201-213.

Reicosky, D.C., T.J. Sauer and J.L. Hatfield. 2011. Challenging balance between productivity and environmental quality: tillage impacts. p. 13-37. In: J.L. Hatfield and T.J. Sauer (eds.) Soil Management: Building a Stable Base for Agriculture. Am. Soc. Agron. and Soil Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, U.S.A.

Sainz-Rozas, H.R., H.E. Echeverría y H. Angelini. 2011. Niveles de materia orgánica y pH en suelos agrícolas de la Región Pampeana y extrapampeana argentina. Informaciones Agronómicas N° 2.

Sherrod, L.A., G.A. Peterson, D.G. Westfall, and L.R. Ahuja. 2003. Cropping intensity enhances soil organic carbon and nitrogen in a no-till agroecosystem. Soil Science Society of America Journal 67:1533-1543.

Siri-Prieto, G. y O. Ernst. 2010. Manejo del suelo y rotación con pasturas: efecto sobre la calidad del suelo, el rendimiento de los cultivos y el uso de insumos. Informaciones Agronómicas 45:22-26.

Steinbach, H.S. and R. Álvarez. 2006. Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystems. Journal of Environmental Quality 35:3-13.

Studdert, G.A. and H.E. Echeverría. 2000. Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. Soil Science Society of America Journal 64:1496-1503.

Studdert, G. A., H.A. Echeverría and E.M. Casanovas. 1997. Crop-pasture rotation for sustaining the quality and productivity of a Typic Argiudoll. Soil Science Society of America Journal 61:1466-1472.

Studdert, G.A., G.F. Domínguez, M.A. Agostini, and M.G. Monterubbianesi. 2010. Cropping systems to manage Southeastern Pampas´ Mollisol health. I. Organic C and mineralizable N. p. 199-200. In Liu, X.; Song, C.; Cruse, R.M.; Huffman, T. (eds.) Proc. of the Intl. Symp. on Soil Quality and Management of World Mollisols, Harbin, Heilongjiang, R.P. China, 13-16 de julio de 2010.